Applied Engineering, Innovation, and Technology

Research article

Pengujian Tahanan Isolasi pada Capacitive Voltage Transformer (CVT) di Bay Penghantar Tes 1/70 kV PT PLN (Persero) ULTG/GI Pekalongan

Yanolanda Suzantry Handayani*, Zahiroh Alfiyah Sa'adah, Muhammad Arfan, Irnanda Priyadi

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu, Indonesia
*Correspondence: yanolanda@unib.ac.id

https://doi.org/10.62777/aeit.v1i2.37

Received: 15 October 2024
Revised: 9 November 2024
Accepted: 15 November 2024
Published: 22 November 2024

Abstract: *Capacitive Voltage Transformer* (CVT) adalah salah satu komponen penting pada sistem gardu induk. Fungsi CVT adalah untuk mengubah besaran tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau memperkecil besaran tegangan pada sistem tenaga listrik untuk pengukuran dan proteksi. Pemeliharaan dan perawatan yang terjadwal membuat CVT bekerja sesuai fungsi nya dalam beroperasi. Pengujian tahanan isolasi adalah salah satu pemeliharaan yang dilakukan. Pengujian ini dilakukan pada bay penghantar Tes 1/70 kV PT PLN (Persero) Gardu Induk Pekalongan, yang merupakan pemeliharaan pencegahan (*preventive maintenance*). Pemeliharaan gardu induk dilakukan dalam kondisi padam setiap dua tahun dan terdiri dari tiga proses utama: pengukuran, pengujian, dan perbandingan hasil uji dengan standar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data tahanan isolasi memenuhi standar yang berlaku, menandakan bahwa CVT masih berfungsi dengan baik dan layak digunakan dalam sistem tenaga listrik.

Keywords: *Capacitive Voltage Transformer*, *preventive maintenance*, tahanan isolasi, transmisi

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat [1], [2]. Dengan meningkatnya permintaan listrik dan kapasitas infrastruktur saat ini, pengamanan sistem terus menerus sangat penting untuk memastikan kontinuitas operasi sistem yang tinggi [3]. Oleh karena itu, pengamanan pusat beban dan pusat pembangkit menjadi faktor penting dalam memaksimalkan koordinasi sistem jaringan listrik yang luas.

Gardu induk memainkan peran penting dalam sistem ketenagalistrikan. Sebagai fasilitas yang terdiri dari berbagai alat dan komponen listrik, gardu induk dirancang untuk menerima aliran listrik dan menyalurkannya melalui sistem transmisi atau distribusi [4], [5]. Sistem transmisi atau distribusi terdiri dari komponen pembagi energi listrik dan peralatan kontrol, yang merupakan komponen utama transmisi dari pembangkit ke gardu induk hingga ke konsumen akhir [6]. Oleh sebab itu, pemeliharaan sarana instalasi merupakan aktivitas yang diwajibkan oleh PT. PLN (Persero) untuk menjaga agar peralatan fisik dan non-fisik tetap beroperasi sesuai dengan standar yang berlaku [7].

Salah satu komponen utama yang berperan dalam pengukuran dan proteksi sistem kelistrikan adalah Capacitive Voltage Transformer (CVT). CVT berfungsi untuk mengubah tegangan sistem yang lebih tinggi ke tegangan sistem yang lebih rendah sesuai dengan kebutuhan peralatan indikator, alat ukur, dan *relay* perlindungan [8]. CVT memiliki peran yang sangat penting dalam sistem kelistrikan, terutama untuk sistem pengaman dan pengukuran. Sebagai contoh, meskipun bagian primer CVT memiliki tegangan yang sangat tinggi, CVT mampu mengamankan peralatan di bagian sekunder yang memiliki tegangan rendah [9]. Mengingat peran penting tersebut, performa CVT harus dijaga melalui pengujian rutin untuk mencegah kerugian seperti kehilangan tegangan yang dapat menyebabkan penurunan kualitas listrik dan menimbulkan kerugian bagi masyarakat maupun penyedia tenaga listrik.

Sistem isolasi pada transformator tegangan merupakan komponen penting yang memisahkan dua bagian yang bertegangan satu sama lain. Kondisi isolasi ini dapat menurun seiring waktu akibat beberapa faktor antara lain tegangan lebih, kelembaban, suhu operasi yang tinggi, atau kerusakan mekanis [10]. Penurunan kualitas isolasi dapat mengakibatkan kegagalan operasi hingga kerusakan pada transformator. Untuk itu, pengujian tahanan isolasi dilakukan sebagai langkah pencegahan, guna memastikan bahwa sistem perlindungan tetap optimal dan untuk mencegah arus bocor yang dapat mengganggu proses transmisi hingga distribusi listrik [11].

Pengujian tahanan isolasi memiliki dua tujuan utama: mengetahui apakah transformator tegangan masih dapat digunakan atau perlu diganti, serta meningkatkan keandalan sistem proteksi dengan mengurangi risiko gangguan akibat kerusakan isolasi. Dengan demikian, pengujian ini menjadi salah satu langkah penting dalam pemeliharaan preventif untuk menjaga keandalan gardu induk dan sistem kelistrikan secara keseluruhan.

2. Metode

Penelitian ini melakukan pengujian tahanan isolasi pada CVT secara langsung. CVT umumnya digunakan dalam sistem transmisi untuk mengubah tegangan tinggi atau ekstra tinggi menjadi tegangan rendah, serta untuk mengukur tegangan tinggi dan memantau sinyal output sistem. Selain itu, CVT juga berfungsi sebagai pencatu tegangan untuk relay elektronik, mengukur konsumsi energi industri, dan mengirimkan sinyal melalui konduktor transmisi [12].

Sistem isolasi pada transformator tegangan adalah komponen penting yang memisahkan dua bagian bertegangan. Namun, kualitas isolasi ini dapat menurun seiring usia akibat berbagai faktor seperti tegangan lebih, kelembapan, suhu operasi tinggi, atau kerusakan mekanis [13]. Penurunan kualitas isolasi dapat menyebabkan kegagalan operasi atau kerusakan pada transformator. Oleh karena itu, pengujian tahanan isolasi dilakukan untuk mengevaluasi kinerja isolator, mendeteksi kesalahan isolasi internal, dan menganalisis respons impuls karakteristik CVT [14].

Pengujian dilakukan di bay penghantar Tes 1/70 kV sebagai bagian dari perawatan pencegahan (*preventive maintenance*). Pemeliharaan ini dilakukan setiap dua tahun dalam kondisi padam dan melibatkan tiga langkah utama: pengukuran, pengujian, dan perbandingan hasil uji dengan standar. Lokasi pengujian berada di gardu induk tegangan tinggi 70 kV ULTG/GI Pekalongan. Pada pengujian ini, nilai tahanan isolasi CVT diukur untuk setiap fasa.

2.1. Peralatan dan Standar Pengujian

Pengujian menggunakan alat *Insulation Tester* tipe Megger S1-1068 (Gambar 1). Alat ini mengukur nilai tahanan isolasi antara belitan dengan ground atau antara dua belitan, menggunakan prinsip pengukuran seperti *ohmmeter*. Karena nilai resistansi isolasi sangat tinggi, diperlukan tegangan pengujian yang memadai agar arus dapat mengalir. Standar nilai tahanan isolasi mengacu pada *Persyaratan Instalasi Listrik* tahun 2000, yaitu 1000 kali tegangan kerja. Sebagai contoh, jika tegangan kerja alat adalah 10.000 volt, maka nilai tahanan isolasinya harus minimal 10 MΩ [15]. Standar pengukuran tahanan isolasi CVT ditunjukkan oleh Tabel 1.

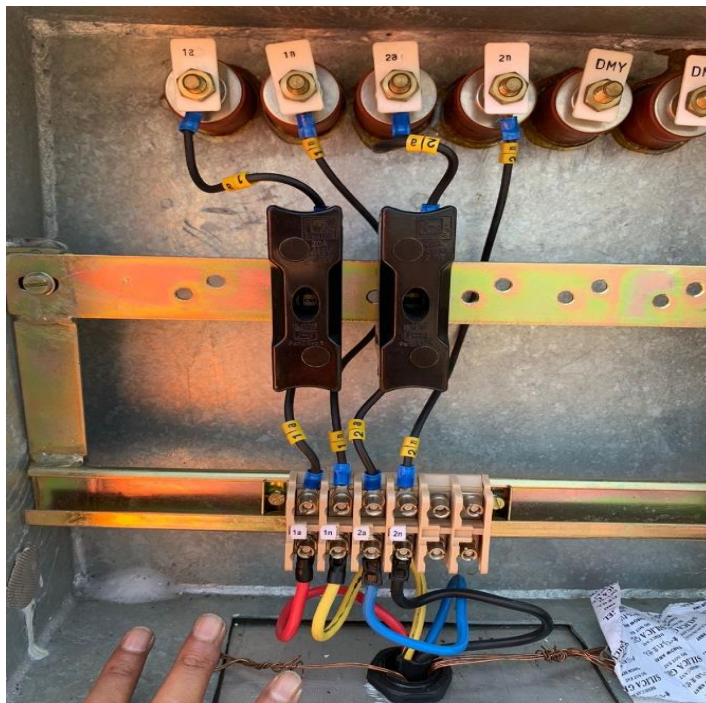
Gambar 1. Alat uji tahanan isolasi Megger S1-1068.

Tabel 1. Standar pengukuran tahanan isolasi pada CVT.

Hasil Pengujian	Penjelasan	Rekomendasi
> 1 MΩ	Bagus	Sesuai standar
< 1 MΩ	Kurang Bagus	Pengujian ulang

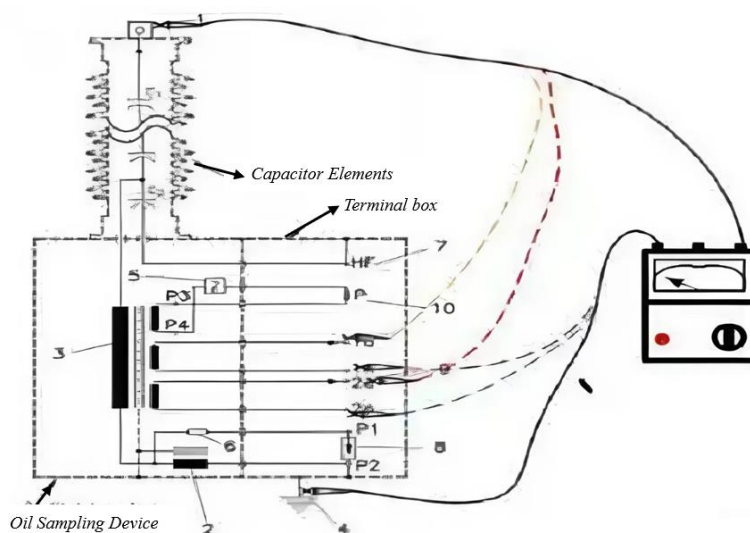
2.2. Prosedur Pengujian

Panel *Core Terminal Box* CVT memiliki empat terminal inti: sekunder 1a, sekunder 1n, sekunder 2a, dan sekunder 2n. Terminal sekunder 1a dan 1n digunakan untuk relay, sedangkan terminal sekunder 2a dan 2n untuk *metering*, sebagaimana terlihat pada Gambar 2.

Gambar 2. *Core terminal box* CVT.

Untuk menguji tahanan isolasi, langkah-langkah berikut dilakukan:

1. Memastikan peralatan dalam kondisi tidak bertegangan.
2. Menyiapkan perangkat insulation tester.
3. Melepaskan koneksi belitan sekunder ke relay.
4. Menghubungkan kabel merah dan hitam pada transformator sesuai pengaturan berikut:
    - Sekunder 1a (kabel merah) ke ground (kabel hitam) dengan tegangan uji 500 V.
    - Sekunder 2a (kabel merah) ke ground (kabel hitam) dengan tegangan uji 500 V.
    - Sekunder 1a (kabel merah) ke sekunder 2a (kabel hitam) dengan tegangan uji 500 V.
    - Primer (kabel merah) ke ground (kabel hitam) dengan tegangan uji 5 kV.
    - Primer (kabel merah) ke sekunder 1a (kabel hitam) dengan tegangan uji 5 kV.
    - Primer (kabel merah) ke sekunder 2a (kabel hitam) dengan tegangan uji 5 kV.

Gambar 3 menunjukkan pengujian tahanan isolasi pada CVT.

Gambar 3. Desain elektrikal sistem pengisian minyak berbasis PLC.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian tahanan isolasi pada CVT bertujuan untuk memastikan bahwa isolasi tetap berfungsi dengan baik sesuai standar yang berlaku. Pengujian dilakukan menggunakan *Insulation Tester* Megger S1-1068, dengan tegangan uji sebesar 5 kV untuk sisi primer dan 500 V untuk sisi sekunder. Hasil pengukuran dari setiap fasa (R, S, T) disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian tahanan isolasi CVT.

Tegangan Uji	Titik Ukur	Fasa R (GΩ)	Fasa S (GΩ)	Fasa T (GΩ)
500 V	Sekunder 1a – *Ground*	2,25	1,61	1,04
	Sekunder 2a – *Ground*	1,36	2,11	1,06
	Sekunder 1a – Sekunder 2a	3,46	3,65	2,04
5 kV	Primer – *Ground*	122,60	323,60	216 ,00
	Primer – Sekunder 1a	17,29	20,10	32,30
	Primer – Sekunder 2a	22,50	20,60	32,40

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai tahanan isolasi pada semua titik ukur berada jauh di atas standar minimum, yaitu 1 MΩ untuk tegangan uji sebesar 1 kV, sesuai dengan standar VDE. Secara keseluruhan, nilai tahanan isolasi yang tinggi mengindikasikan bahwa CVT pada bay penghantar Tes 1/70 kV di ULTG/GI Pekalongan masih dalam kondisi baik dan layak digunakan.

1. **Tahanan Isolasi Sekunder – Ground**
   Nilai tahanan isolasi pada titik sekunder 1a – ground dan sekunder 2a – ground berkisar antara 1,04 GΩ hingga 2,25 GΩ. Meskipun terdapat sedikit variasi antar fasa, nilai ini tetap jauh di atas batas minimum yang ditentukan, sehingga tidak ada indikasi kerusakan isolasi.
2. **Tahanan Isolasi Primer – Ground**
   Nilai tahanan isolasi pada sisi primer terhadap ground menunjukkan angka yang sangat tinggi, dengan rentang antara 122,6 GΩ hingga 323,6 GΩ. Nilai ini menunjukkan performa isolasi yang sangat baik, bahkan dalam kondisi tegangan uji yang tinggi (5 kV).
3. **Tahanan Isolasi Antar Sisi (Primer dan Sekunder)**
   Hasil pengukuran tahanan antara sisi primer dan sekunder menunjukkan nilai di atas 17 GΩ, yang menunjukkan bahwa isolasi antar belitan tetap kokoh dan tidak ada indikasi kebocoran arus.

Menurut *PUIL 2000*, nilai minimum tahanan isolasi adalah 1 MΩ untuk setiap 1 kV tegangan uji. Dengan demikian, hasil pengujian yang berkisar dalam orde giga-ohm menunjukkan bahwa CVT tidak hanya memenuhi standar, tetapi juga memiliki margin keamanan yang sangat besar.

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa media isolasi pada CVT masih dalam kondisi baik dan dapat digunakan tanpa memerlukan tindakan perbaikan atau penggantian. Namun, pemantauan berkala tetap diperlukan untuk mendeteksi kemungkinan penurunan kualitas isolasi akibat faktor usia atau kondisi lingkungan seperti kelembaban dan suhu. Jika nilai tahanan isolasi terus menurun di bawah standar minimum, tindakan penggantian isolasi harus segera dilakukan untuk mencegah gangguan sistem transmisi. Isolasi yang buruk dapat menyebabkan kebocoran arus,

potensi hubungan pendek, dan kegagalan operasional, yang akan berdampak negatif pada kontinuitas penyediaan listrik.

Pengujian tahanan isolasi ini memberikan informasi penting mengenai keandalan dan keamanan sistem kelistrikan di ULTG/GI Pekalongan. Dengan hasil yang sesuai standar, operasi CVT di gardu induk ini dapat terus berlangsung tanpa gangguan, sekaligus memastikan keandalan sistem transmisi dan distribusi listrik.

4. Kesimpulan

Pengujian tahanan isolasi pada Capacitive Voltage Transformer (CVT) dilakukan untuk mengevaluasi kondisi isolasi antara belitan dan ground serta mengidentifikasi potensi arus bocor yang disebabkan oleh faktor eksternal seperti suhu, kelembaban, atau kotoran pada permukaan isolator. Pengujian dilakukan dalam kondisi padam menggunakan Insulation Tester Megger S1-1068, dengan tegangan uji sebesar 5 kV untuk sisi primer dan 500 V untuk sisi sekunder. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai tahanan isolasi pada semua titik ukur berada jauh di atas standar minimum yang ditetapkan. Hal ini membuktikan bahwa CVT yang diuji memiliki isolasi yang sangat baik, mampu menahan arus besar, dan masih layak digunakan dalam sistem transmisi. Kinerja isolasi yang optimal ini juga menunjukkan efektivitas pemeliharaan berkala yang dilakukan setiap dua tahun. Dengan demikian, CVT yang diuji pada bay penghantar Tes 1/70 kV di ULTG/GI Pekalongan masih memenuhi standar keandalan dan siap untuk digunakan dalam mendukung sistem transmisi listrik.

Funding: This research received no external funding.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

[1] O. Uçan, H. Budak, and E. D. Aktekin, “Analysis of Relationship between Economic Growth and Energy Consumption in Developed Countries,” *Journal of Human, Earth, and Future*, vol. 3, no. 1, pp. 82–89, Mar. 2022, doi: 10.28991/HEF-2022-03-01-06.

[2] K. Aswadi, Abd. Jamal, S. Syahnur, and M. Nasir, “Renewable and Non-renewable Energy Consumption in Indonesia: Does it Matter for Economic Growth?,” *International Journal of Energy Economics and Policy*, vol. 13, no. 2, pp. 107–116, Mar. 2023, doi: 10.32479/ijeep.13900.

[3] A. M. Stanković *et al.*, “Methods for Analysis and Quantification of Power System Resilience,” *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 38, no. 5, pp. 4774–4787, Sep. 2023, doi: 10.1109/TPWRS.2022.3212688.

[4] Q. Zhou, W. He, D. Xiao, S. Li, and K. Zhou, “Study and Experiment on Non-Contact Voltage Sensor Suitable for Three-Phase Transmission Line,” *Sensors*, vol. 16, no. 1, p. 40, Dec. 2015, doi: 10.3390/s16010040.

[5] F. Zhou, P. Zhao, M. Lei, C. Yue, J. Yu, and S. Liang, “Capacitive voltage transformer measurement error prediction by improved long short-term memory neural network,” *Energy Reports*, vol. 8, pp. 1011–1021, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.egyr.2022.05.262.

[6] C. H. L. Sitorus, “Studi Analisis Pemilihan dan Pemasangan Arrester Aplikasi Transformator pada Gardu Induk Pematang Siantar,” Universitas HKBP Nommensen, 2017.

[7] Yusmartato, L. Parinduri, and Sudaryanto, “Pembangunan Gardu Induk 150 KV di Desa Parbaba Dolok Kecamatan Pangururan Kabupaten Samosir,” *JET (Journal of Electrical Technology)*, vol. 2, no. 3, pp. 13–17, 2017.

[8] D. N. Prameswari, “Analisis Kinerja Sistem Proteksi Berdasarkan Frekuensi Gangguan di Gardu Induk 150 kV Padalarang Baru,” Universitas Siliwangi, 2022.

[9] S. R. Pertiwi, U. Latifa, R. Hidayat, and I. Ibrahim, “Analisis Kelayakan CVT (Capacitive Voltage Transformer) Phasa S Bay Busbar 2 150 kV di GI PT. XYZ Indonesia,” *Techné : Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, vol. 20, no. 1, pp. 35–42, May 2021, doi: 10.31358/techne.v20i1.259.

[10] A. D. Saputra and R. Rahmadewi, “Pengujian Tahanan Isolasi Capasitive Voltage Transformator

(CVT) 500kV Bay GT 2 dalam Upaya Meningkatkan Peralatan Proteksi di GITET Muara Tawar," *Power Elektronik : Jurnal Orang Elektro*, vol. 11, no. 2, p. 209, Jul. 2022, doi: 10.30591/polektro.v12i1.3833.

[11] Sukamdi, Harrij Mukti K., Muhammad Hadyan Farizan, and Muhammad Rafid Faiz Firmansyah, "Analisis Rencana Pemasangan Transformator Sisipan Untuk Mengatasi Overload dan Drop Voltage pada Penyulang Selogabus PT. PLN (Persero) ULP Bojonegoro Kota," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 9, no. 3, pp. 127–133, Feb. 2023, doi: 10.33795/elposys.v9i3.646.

[12] E. P. Raharjo, "Studi Penalaan Parameter FSC (Ferroresonance Suppression Circuit) Untuk Menanggulangi Feroresonansi Pada CVT (Capacitive Voltage Transformer)," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.

[13] A. Alghifari, A. P. Putra, A. F. Pratama, and S. Sujito, "Analisis Pengujian Kualitas Tahanan Isolasi pada Transformator Tegangan 150 kV Bay Gunung Sari 2 di Gardu Induk Waru," *Power Elektronik : Jurnal Orang Elektro*, vol. 13, no. 1, pp. 22–25, Feb. 2024, doi: 10.30591/polektro.v13i1.6248.

[14] D. C. Sitorus, "Pengujian Pada Peralatan Primer Gardu Induk di ULTG Gandul," Institut Teknologi PLN, 2022.

[15] Badan Standardisasi Nasional, "Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)," 2000.